

УДК 621.574

**С.В. Гайдук**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039

### **МЕТОДИ СТВОРЕННЯ СХЕМИ ТЕПЛОВИКОРИСТАЛЬНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ З РОБОЧОЮ РЕЧОВИНОЮ ДІОКСИДОМ ВУГЛЕЦЮ**

*В статті розглянутий метод створення схемно-циклового рішення тепловикористальної компресорної холодильної машини з діоксидом вуглецю в якості робочої речовини, базуючись на термодинамічному аналізі «методом циклів». Шляхом поетапного нараощування незворотностей, в циклі-зразку зумовлених дійсними умовами роботи кожного елемента в складі холодильної машини, сформовані еталонні цикли дійсних машин. На основі аналізу визначений мінімальний елементний склад машини, забезпечуючи реальні процеси переносу тепла, розширення, стиску, в сукупності з не безпечними умовами роботи машини з діоксидом вуглецю. Приведена оцінка термодинамічної ефективності циклів для реальних температурних режимів роботи.*

**Ключові слова:** Тепловикористальна холодильна машина - Діоксид вуглецю - Термодинамічний аналіз - Метод циклів.

**С.В. Гайдук**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039

### **МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ СХЕМЫ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ С РАБОЧИМ ВЕЩЕСТВОМ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА**

*В статье рассмотрен метод создания схемно-циклового решения теплоиспользующей компрессорной холодильной машины с диоксидом углерода в качестве рабочего вещества, базирующейся на термодинамическом анализе «методом циклов». Путем поэтапного наращивания необратимостей в цикле-образце, обусловленными действительными условиями работы каждого элемента в составе холодильной машины, сформированы эталонные циклы действительных машин. На основании анализа определен минимальный элементный состав машины, обеспечивающий реальные процессы переноса тепла, расширения, сжатия в совокупности с безопасными условиями работы машины с диоксидом углерода. Дана оценка термодинамической эффективности циклов для реальных температурных режимов работы машины.*

**Ключевые слова:** Теплоиспользующая холодильная машина - Диоксид углерода - Термодинамический анализ - Метод циклов.

**S.V. Gayduk**

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaja str., 65039

### **THE CREATION METHODS OF HEAT-USING REFRIGERATION MACHINE WITH CARBON DIOXIDE AS WORKING SUBSTANCE PATTERN**

*The article describes the method of creating a cyclic-scheme decision of heat-using compressor refrigerating machine with carbon dioxide as the working substance, based on the thermodynamic analysis of the «method of cycles». The method of creating of the cyclic-scheme decision of the heat-using compressor machinery with carbon dioxide is based on the thermodynamic analysis of the "method of cycles". Through a phased build-up of irreversible in the cycle - sample (consistent «deterioration» of the ideal cycle) caused by the actual conditions of each element work in the composition of the refrigeration machine, reference cycles of valid machines were formed. Based on analysis, minimum elemental composition was defined, which provided real processes of heat transfer, expansion, compression in total with safe machine operation conditions with carbon dioxide. The estimation of the thermodynamic efficiency of cycles for real temperature machine operation modes was made.*

**Keywords:** Refrigeration machine using heat energy - Carbon dioxide - Thermodynamic analysis - Method of cycles.

## **I. ВСТУП**

Енергетична безпека, економічний розвиток та захист навколишнього середовища погано збалансовані між собою, при цьому економічне зростання тісно зв'язане з попитом додаткової енергії. Невідомні джерела енергії досі грають домінуючу роль в енергетичних ресурсах на планеті, і тенденція економічного розвитку має функцію приросту, тому погіршення екологічної безпеки неминуче.

Покращити ситуацію можна за рахунок використання джерел тепла низького потенціалу, яке масово викидається в атмосферу при проведенні технологічних процесів (виготовлення металу, паперу; продукти горіння палива та ін..).

Використання подібних джерел енергії має сенс для підвищення енергетичної ефективності технологічних процесів та зменшення потреби в використанні первинних ресурсів, оскільки на кожному підприємстві для підтримки технологічного

процесу і забезпечення тепло-вологісного режиму в приміщеннях потрібен холод, на отримання якого використовують електричну енергію.

Для забезпечення потреби підприємств холодом існують машини, які використовують тепло низького потенціалу (з температурою  $100^{\circ}\text{C}$  і вище) і мають назву «тепловикористальні холодильні машини».

До них належать абсорбційні, адсорбційні, ежекторні машини [1,2]. Окремий клас тепловикористальних холодильних машин становлять компресорні, у яких реалізується цикл Чистякова-Плотнікова [3].

У якості робочих речовин в абсорбційних машинах [4] використовують водо-аміачний та бромистолітійевий розчини, у ежекторних – речовини HCF-HCFC типу та воду [5].

Компресорні машини переважно проектували з R22, R21, RC318 робочими речовинами [3]. Вони мали інтенсивне дослідження і розробку в 60-70 роках минулого століття в ОГАХ на кафедрі холодильних машин у якості транспортних кондиціонерів та систем охолодження надувного повітря до дизельних двигунів внутрішнього згоряння.

В зв'язку з обмеженням на вказані робочі речовини [6] компресорні машини не мають завершеного дослідження.

Відроджуючи дослідження компресорних тепловикористальних холодильних машин, звернемося до діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) як робочої речовини.

## II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Машини з  $\text{CO}_2$  відносяться до старіших типів парових компресорних холодильних машин [7]. В останні роки такі машини інтенсивно розширюють сферу обслуговування: від малих автомобільних кондиціонерів до великих низькотемпературних каскадних комплексів з аміаком у верхньому каскаді [8]. Обмеження, зв'язані з великими робочими тисками, сьогодні відсутні завдяки новітнім технологіям у компресоробудуванні та створенні теплообмінних апаратів. Спроби створення тепловикористальної машини досі не було, або ми не володіємо достовірною інформацією відносно цього напрямку у техніці діоксиду вуглецю.

При будь-яких обставинах, розглянемо можливість створення подібних машин.

### Вибір термодинамічних зразків для аналізу дійсного циклу

Класичний підхід до створення енергоперетворювальної системи починається з термодинамічного аналізу. Він є першою сходинкою в процесі проектування, і за його результатами майбутня система виявляється роботоздатною з високою енергетичною досконалістю або її подальший розвиток не має практичного сенсу.

Для цього використовують метод циклів, розроблений В. С. Мартиновським [9] і згодом широко застосований при дослідженні парових компресорних машин з чистими робочими речовинами,

сумішами речовин, абсорбційних холодильних машин [2].

Основною задачею на початковому етапі проектування будь-якої енергоперетворювальної системи є вибір циклу-зразка. Саме він є основою для створення реальної машини.

Цикли тепловикористальної холодильної машини з точки зору термодинаміки – це поєднання прямого і зворотного циклів, в яких використовується єдина робоча речовина, при умові, що зберігається баланс роботи в прямому і зворотному циклах, тому для побудови складного циклу-зразка потрібні два простих термодинамічні цикли.

Розглянемо цикли-зразки, які використовують для термодинамічного аналізу та граничні умови їх використання. [2]

Цикл Карно – зразок, який використовується для аналізу будь-яких теплоенергетичних установок [10]. Цикл використовують при наявності двох джерел тепла, які не змінюють в процесі теплообміну своїх температур. За таких умов цикл Карно – єдиний цикл, який буде відповідати умовам зовнішньої оборотності в ізотермічних процесах теплообміну та внутрішньої оборотності в ізоентропних процесах перенесення теплової енергії від високого температурного рівня до низького (або навпаки). Енергетична ефективність такого циклу залежить тільки від температурної різниці джерел тепла (рисунок 1).

За умови, коли джерела тепла змінюють свою температуру в процесі теплообміну, цикл Карно некоректно використовувати в якості циклу-зразка [10].

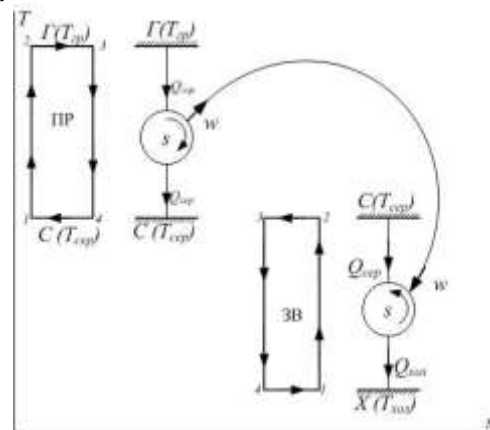


Рисунок 1 – Цикли Карно  
ПР – прямий цикл, ЗВ – зворотній цикл

При зміні температури джерела в процесі теплообміну ізотермічні ділянки циклу Карно повинні бути замінені на будь-який зовнішньо оборотні процеси, при яких температура робочої речовини з точністю слідує зміні температури джерел тепла. Враховуючи, що в усіх енергоперетворювальних установках процеси підведення та відведення тепла відбуваються при постійних тисках, в якості циклу-зразка можна вибрати цикл Джоуля (як окремий випадок циклу Лоренца), при постійних ізобарних теплоємностях в процесах теплообміну (рисунок 2) [11].

Назва циклу-зразка для тепловикористальних холодильних машин носить здвоєну назву відповідно до складових циклів: перший цикл-прямий, другий-зворотний.

В залежності від поєднання джерел тепла, виникає чотири комбінації циклів: Карно-Карно, Карно-Джоуль, Джоуль-Карно, Джоуль-Джоуль.

Такий вибір комбінації циклів-зразків зроблено в зв'язку з тим, що з CO<sub>2</sub> можна реалізувати цикли як в надкритичній, так і в двофазній областях.

Вибір відповідного циклу-зразка буде пов'язаний з подальшим аналізом дійсних схемних рішень холодильної машини.

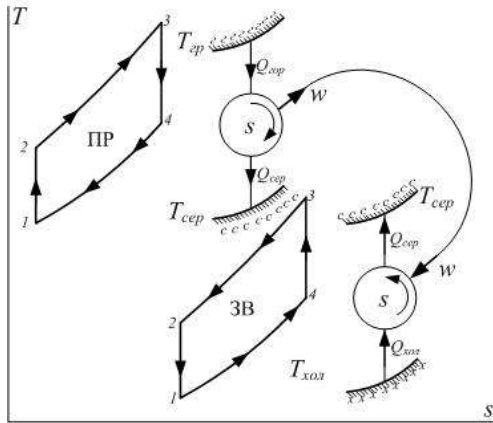


Рисунок 2 – Цикл Джоуля

ПР – прямий цикл, ЗВ – зворотний цикл

## ІІ. ЕТАПИ СТВОРЕННЯ СХЕМНО-ЦИКЛОВОГО РІШЕННЯ

Початком термодинамічного аналізу «методом циклів» є вибір циклу-зразка. На першому етапі аналізу в якості циклу-зразка обираємо прямий і зворотний цикли Карно.

Формування дійсного термодинамічного циклу машини здійснюється за допомогою діаграми стану T-s, при використанні конкретних температурних рівнів джерел тепла.

**Перший етап** – вибір циклу-зразка та визначення можливих конфігурацій циклових рішень.

**Цикл 1.** Цикл складається з двох окремих оборотних циклів Карно (рисунок 3), яких побудовано на граничних температурах: об'єкт охолодження  $T_{хол}=0^{\circ}C$ ; охолоджуюче середовище  $T_{ср}=30^{\circ}C$ ; гріюче джерело  $T_{гр}=125^{\circ}C$ . Цикли побудовано за принципом: витрачена робота в зворотному циклі компенсується отриманою корисною роботою в прямому циклі. Коефіцієнт перетворення (COP) даного циклу-зразка визначається з рівняння [2]:

$$COP_{цикл} = COP_{пр} \cdot COP_{зв} = \frac{T_{хол}}{T_{ср} - T_{хол}} \cdot \frac{T_{гр} - T_{ср}}{T_{гр}} \quad (1)$$

**Цикл 2.** Єдина робоча речовина у прямому і зворотному циклах об'єднує їх в один складний

загальний цикл, який має чотири інтерпретації (рисунок 4 – цикли 2а, 2б, 2в і 2г).

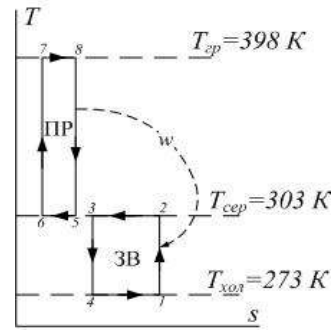


Рисунок 3 – Цикл 1

Всі цикли реалізуються в однаковому діапазоні температур, тому COP всіх циклів будуть однакові. При детальному розгляді циклів вкажемо на принципові розбіжності в їх формуванні.

В циклі 2а можливі два варіанти. Процеси 8-4 та 2-6 єдині для обох циклів, наслідком цього є незмінна масова витрата робочої речовини в складному циклі. Процеси 8-5 та 3-4 розділені і проходять в різних елементах машини, наслідком цього цикли прямий і зворотний працюють самостійно, тоді ідея тепловикористальної машини відпадає.

**Цикл 2б** – класичний цикл для будь-якої тепловикористальної машини: абсорбційної, ежекторної, компресорної.

**Цикл 2в** характеризується тим, що стан робочої речовини після розширення в прямому циклі співпадає з станом кінця стиску в зворотному циклі, і процес відведення тепла в навколишнє середовище в них загальний.

**Цикл 2г** реалізується з єдиним процесом стиску від  $T_{хол}$  до  $T_{гр}$ .

Таким чином площі, які характеризують роботу в прямому і зворотному циклах для циклів 2а і 2г в діаграмі рівні між собою, а для циклів 2б і 2в рівність площ носить логічний зміст, оскільки в прямому і зворотному циклах можуть бути різні витрати робочої речовини.

**Другий етап** – врахування необоротностей в процесах теплообміну

**Цикл 3.** Для подальшого аналізу у всіх чотирьох циклах введено зовнішні необоротності в процесах підведення-відведення тепла (рисунок 5.).

Основні робочі температури для робочої речовини будуть такими:

- Температурний напір при відведенні тепла від об'єкта охолодження

$$\Delta T_0 = T_{хол} - T_0, \quad (2)$$

де  $T_0$  - температура робочої речовини;

- Температурний напір при відведенні тепла в охолоджувачі

$$\Delta T_{ср} = T_{ох} - T_{ср}, \quad (3)$$

де  $T_{ох}$  - температура робочої речовини;

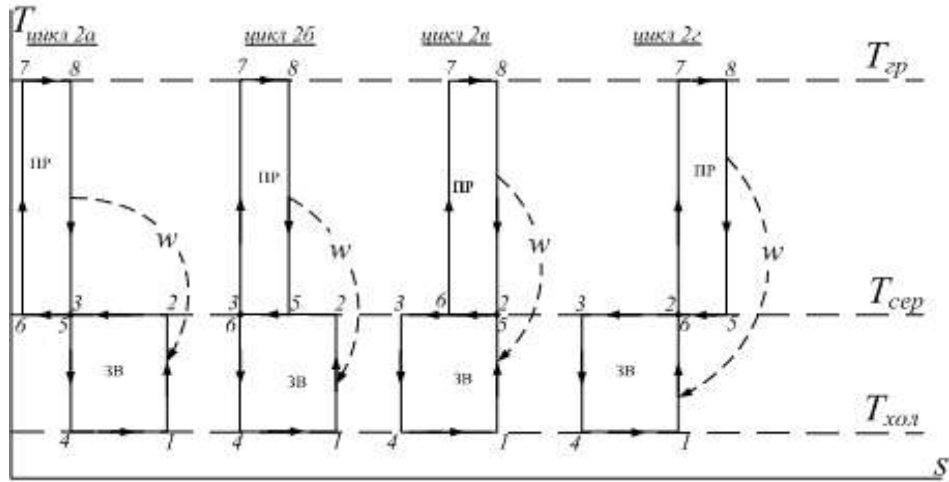


Рисунок 4 – Цикл 2

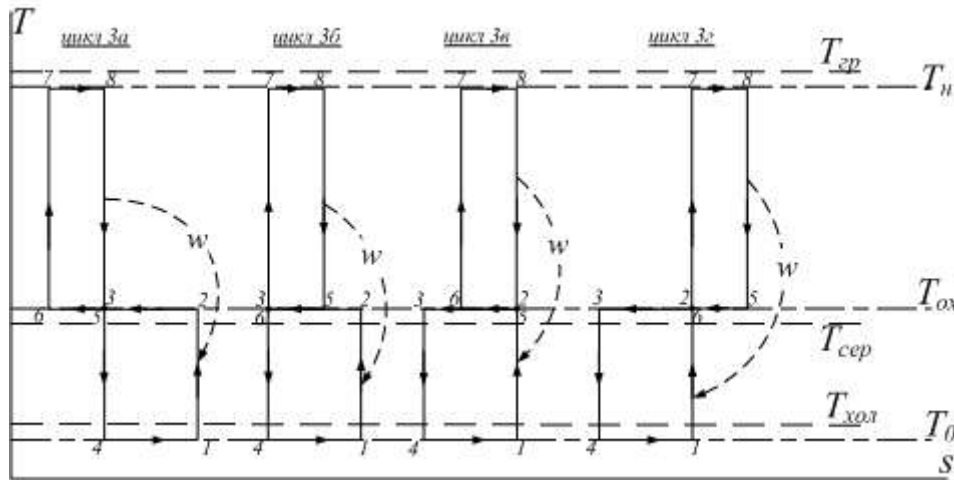


Рисунок 5 – Цикл 3

- Температурний напір в нагрівачі

$$\Delta T_{гр} = T_{гр} - T_n, \quad (4)$$

де  $T_n$  - температура робочої речовини.

Аналіз циклів:

- площі зворотного циклу (1-2-3-4) еквівалентні роботі циклу в усіх чотирьох комбінаціях залишаються однаковими;

- введення різниці температур призводить до зменшення кількості відведеного тепла від об'єкта охолодження;

- різниця температур призводить до збільшення роботи в зворотних циклах;

- різниця температур в нагрівачі призводить до зменшення отриманої роботи в прямому циклі. Для виконання умов реалізації складного циклу необхідно в прямих циклах збільшити роботу циклу шляхом збільшення підведеного в нагрівачі тепла.

$COP$  циклу-зразка визначається рівнянням

$$COP_{цикл3} = \frac{(T_{хол} - \Delta T_0)}{(T_{сер} + \Delta T_{сер}) - (T_{хол} - \Delta T_0)} \times \frac{(T_{гр} - \Delta T_{гр}) - (T_{сер} + \Delta T_{сер})}{(T_{гр} - \Delta T_{гр})} =$$

$$= \frac{T_0}{T_{ох} - T_0} \cdot \frac{T_n - T_{ох}}{T_n}. \quad (5)$$

**Третій етап** – врахування властивостей робочої речовини та визначення еталонного циклу машини.

**Цикл 4** – врахування властивостей робочої речовини.

Для відображення властивостей робочої речовини в координати  $T$ - $S$  вводять пограничні криві.

Для подальшого аналізу звертаємо увагу на температурний режим циклу.  $CO_2$  має низьку критичну температуру 304K, тому завжди температура в нагрівачі буде вища за критичну. В охолоджувачі можливі варіанти: температура джерела вища, рівна або нижча за критичну. Температура об'єкта охолодження завжди нижче критичної.

Використання в якості зразка циклу Карно для аналізу прямого циклу не дає достовірного результату, оскільки практично неможливо виконати процес в нагрівачі зворотним шляхом (в надкритичній області ізобари не співпадають з ізотермами). Джерело має постійну температуру, а робоча речовина – постійний тиск, тому в нагрівачі має місце незворотній процес. Таким чином в яко-

сті зразка має використовуватися цикл Джоуля, який в реальних умовах реалізується як цикл Брайтона [11]. Пропонується цикл Карно-Карно замінити на Джоуль-Карно (рисунок 6).

На даному етапі аналізу температура в охолоджувачі вища за критичну.

Коефіцієнт перетворення циклу-зразка Джоуль-Карно становит:

$$COP_{Д-К} = \frac{T_0}{T_{20} - T_0} \cdot \frac{T_{2H}^m - T_{20}^m}{T_{2H}^m} = \frac{T_0}{T_{20} - T_0} \cdot \frac{\int_{s_7}^{s_8} T ds / (s_8 - s_7) - \int_{s_6}^{s_5} T ds / (s_5 - s_6)}{\int_{s_7}^{s_8} T ds / (s_8 - s_7)}, (6)$$

де  $T_{2H}^m, T_{20}^m$  – середньопланіметричні температури в газовому нагрівачі і газовому охолоджувачі від-

повідно,  $K; S_7, S_8, S_6, S_5$  – ентропії робочої речовини у вузлових точках циклу, кДж/(кг К).

Результати аналізу:

- цикли 4б та 4в реалізуються при однаковій температурі в нагрівачі, що пов'язане з різними витратами робочої речовини в циклах;
- цикл 4а потребує збільшення тиску в нагрівачі з одночасним зниженням температури;
- цикл 4г реалізується тільки при значно вищих температурах гріючого джерела.

Цикл 5 – забезпечення надійної роботи компресора зворотного циклу.

Надійна робота компресора забезпечується стиском сухої насиченої або перегрітої пари.

Рисунок 7 демонструє трансформацію зворотного циклу і пов'язане з цим збільшення роботи циклу. При збереженні балансу робіт, параметри прямого циклу змінюються відповідно зі зворотним.

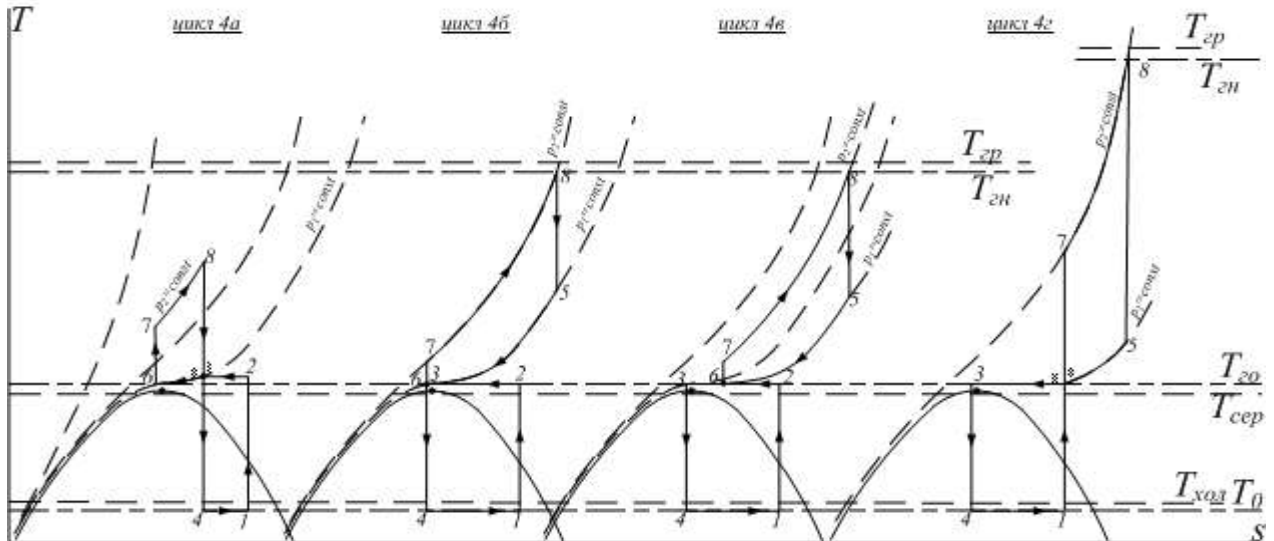


Рисунок 6 – Цикл 4

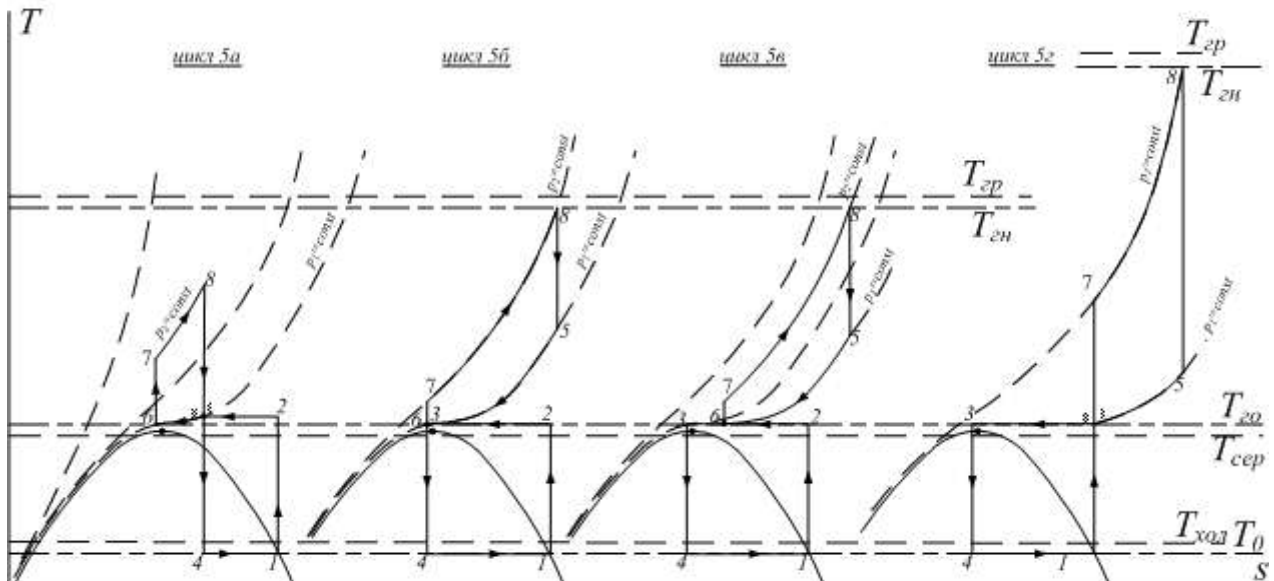


Рисунок 7 – Цикл 5

Цикл 6 – введення ізобарного процесу теплообміну в газовому охолоджувачі і остаточне формування еталонного циклу.

Процес в газовому охолоджувачі зворотного циклу є ізобарним, з цим пов'язане збільшення роботи зворотного циклу. Процеси в прямому і зворотному циклах мають однаковий тиск, на деяких ділянках однакові температури, що уможливує використовувати в реальній машині єдиний теплообмінний апарат.

Представлені еталонні цикли (рисунок 8.) побудовані за взірцевим циклом Планка для парових компресорних холодильних машин [2]. Цикли мають суттєву відмінність: у зворотному циклі детандер не замінений дроселем. В сучасних машинах з CO<sub>2</sub>, на відміну від інших парових компресорних машин, детандер використовується на рівних умовах з дросельним вентилям, тому в еталонному циклі передбачено ізоентропне розширення в області вологої пари [13-14], а врахування необоротності в процесі розширення не є обов'язковим.

На підставі еталонних циклів розроблено узагальнену схему тепловикористальної холодильної машини з діоксидом вуглецю в якості робочої речовини (рисунок 9.).

Назви вузлових точок на циклах співпадають з такими на узагальненій схемі.

Коефіцієнт перетворення еталонних циклів визначається рівнянням:

$$COP_{em} = \frac{h_1 - h_4}{f \cdot (h_8 - h_7)}, \quad (7)$$

де  $f$  – відношення витрат робочої речовини в прямому і зворотному циклах;  $h_1, h_4, h_8, h_7$  – ентальпії робочої речовини в вузлових точках відповідно до циклів, кДж/кг.

Порівняльні розрахунки виконано при однакових умовах для зворотного циклу:  $t_0 = -5^\circ\text{C}$ ,  $t_{zo} = 35^\circ\text{C}$ ; для прямого циклу – тиск в газовому охолоджувачі 80бар і в газовому нагрівачі 250бар. З умови балансів роботи в прямому і зворотному циклах, прямі цикли реалізуються при різних максимальних температурах ( $t_8$ ) в газовому нагрівачі: цикл 6а – 122,5°C; цикл 6б – 120°C (єдиний цикл, в якому максимальна температура в газовому нагрівачі не залежить від інших граничних температурних умов); цикл 6в – 168,9°C; цикл 6г – 225°C. Результати розрахунків коефіцієнтів перетворення еталонних циклів  $COP_{em}$  вказані на рисунок 9. Результати циклу 6г співпадають з результатами, наведеними в роботі [15].

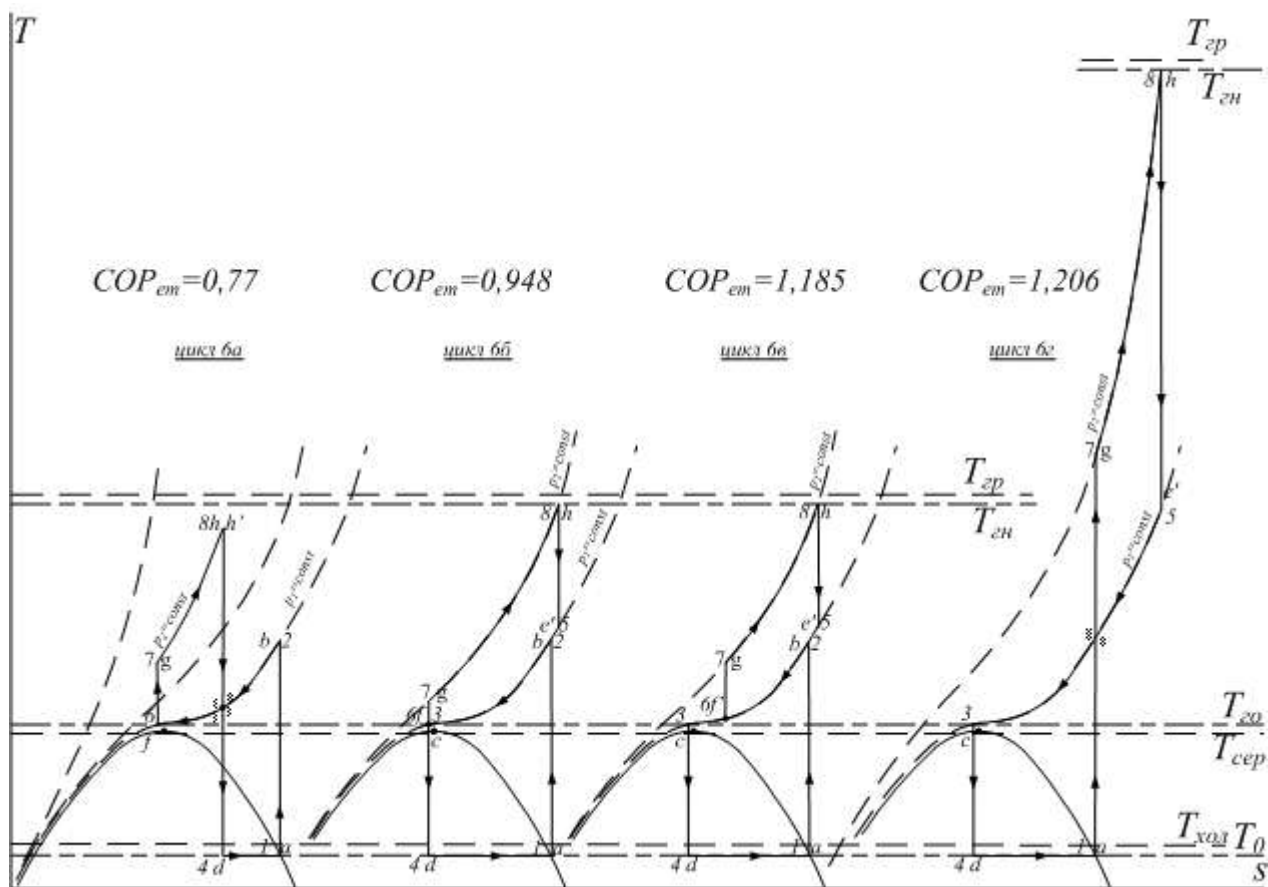
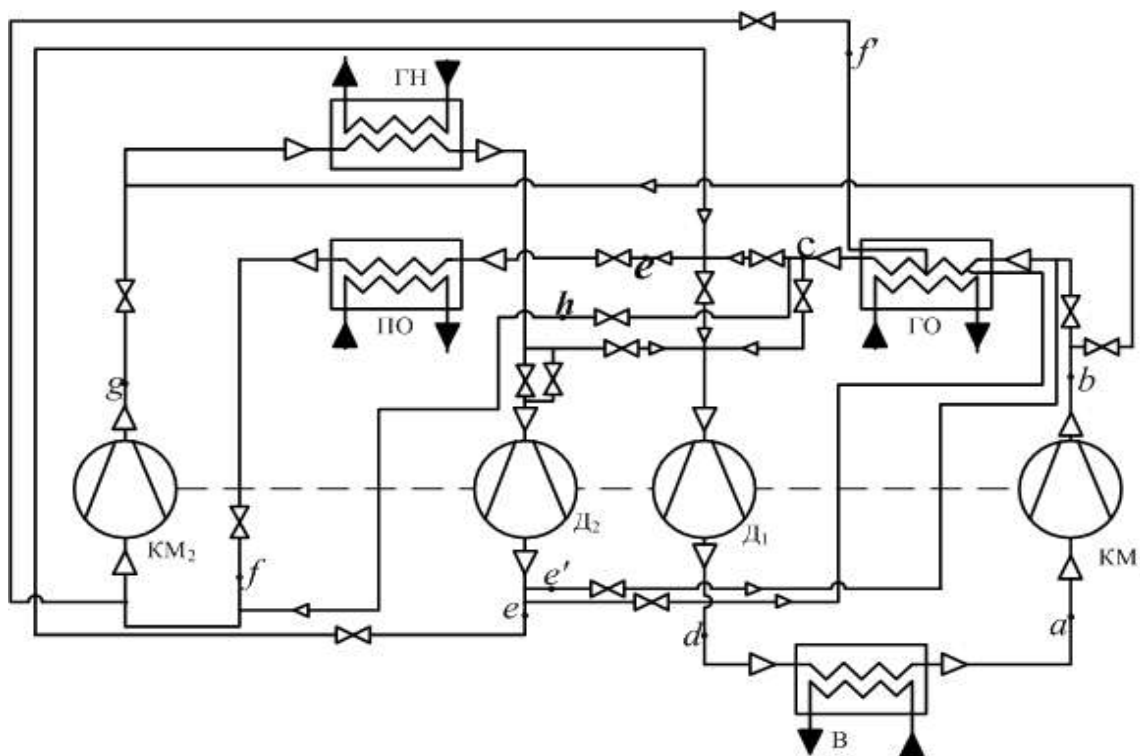


Рисунок 8 – Цикл 6, еталонні цикли



**Рисунок 9** – Узагальнена схема тепловикористальної холодильної машини з діоксидом вуглецю в якості робочої речовини.

КМ<sub>1</sub> – компресор зворотного контуру; ГО – газовий охолоджувач; Д<sub>1</sub> – детандер зворотного контуру; Д<sub>2</sub> – детандер прямого контуру; КМ<sub>2</sub> – компресор прямого контуру; В – випарник; ПО – проміжний охолоджувач (додатковий); ГН – газовий нагрівач.

## ВИСНОВКИ

Метод циклів може бути використаний для створення схемного рішення будь-якої холодильної машини;

Синтез схемно-циклового рішення з CO<sub>2</sub> методом циклів підтверджує положення для тепловикористальних машин – температури двох джерел можуть бути задані, а третя – є функцією від них [16].

Термодинамічний аналіз, проведений в роботі, довів можливість створення реальних компресорних тепловикористальних холодильних машин, з робочими речовинами, які мають низьку критичну температуру.

Наявність узагальноної схеми дозволяє спроектувати тепловикористальну компресорну холодильну машину з діоксидом вуглецю згідно технічного завдання для конкретного споживача.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Теплотехніка [Текст]: навч. посібник / Б.Х. Драганов, А.А. Долінський, А.В. Міщенко, Є.М. Письменний; за ред. Б.Х. Драганова. – Київ: «ІНКОС», 2005. – 504 с.
2. Морозюк, Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. [Текст] / Т. В. Морозюк – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с.
3. Чистяков, Ф.М. Холодильные турбоагрегаты [Текст] / Ф.М. Чистяков. — Изд. 2-е перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1974. — 301 с

4. Орехов, И. И. Абсорбционные преобразователи теплоты [Текст]: учеб., пособие / И. И. Орехов, Л. С. Тимофеевский, С. В. Караван. – Л. Химия Ленингр. отд-ние. 1989, 207 с.
5. Шумелишский, М. Г. Эжекторные холодильные машины [Текст] / М. Г. Шумелишский – Государственное издательство торговой литературы москва-1961.
6. Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH. Обзор хладагентов. Издание 13. A-501-13. 2004.
7. Padalkar, A. S. Carbon Dioxide as Natural Refrigerant / Padalkar, A. S., Kadam A. D.// International journal of applied engineering research, dindigul .Volume 1, No 2, 2010.
8. Горбенко, Г. Л. Применение диоксида углерода в холодильных технологиях [Текст] / Г.Л. Горбенко, И.В. Чайка, П.Г. Гагал, Р.Ю. Турна Технические газы, № 4, 2009 с.18-22.
9. Morosuk, T. Entropy-cycle method for analysis of refrigeration machine and heat pump cycles./ T. Morosuk, R. Nikulshin, L. Morosuk. //THERMAL SCIENCE: Vol. 10 (2006), No. 1, pp. 111-124 с.
10. Мартыновский, В. С. Анализ действительных термодинамических циклов. [Текст] / В. С. Мартыновский - М.: Энергия, 1972. С. 216.
11. Lillo, T. Moore. Development of a Supercritical Carbon Dioxide Brayton Cycle: Improving PBR Efficiency and Testing Material Compatibility/ T. Lillo, W. Windes, T. Totemeier, R. Moore. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL), October 2004.

12. **Мартыновский, В. С.** Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. [Текст] / В. С. Мартыновский. // Под ред. В. М. Бродянского. – М.: Энергия, 1979 – 288 с.

13. **Kohsokabe, H.** Performance Characteristics of Scroll Expander for CO<sub>2</sub> Refrigeration Cycles/ H. Kohsokabe, M. Koyama, K. Tojo, M. Matsunaga., International Compressor Engineering Conference. Nakayama (2008) Paper 1847.3

14. **Matsui, M.** Development of High-Efficiency Technology of TwoStage Rotary Expander for CO<sub>2</sub> Refrigerant/ M. Matsui, T. Wada Ogata, H. Hasegawa. International Compressor Engineering Conference, 2008.. Paper 1837.

15. **Yang, C.** Thermodynamic Cycles using Carbon Dioxide as Working Fluid. / C. Yang, School of Industrial Engineering and Management Department of Energy Technology Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration. Stockholm, October, 2011.

16. **Stierlin, H.** Beitrag zum Theorie der Absorption-kaltemaschinen / H. Stierlin, Kaltetechnik.-1964.-VoL-16.-P. 213-219.

## REFERENCES

1. Теплотехника [Текст]: навч. посібник / В.Н. Драганов, А.А. Долінський, А.В. Міщенко, Е.М. Писмений; за ред. В.Н. Драганова. – Київ, «ІНК-ОС», 2005. – 504 с.

2. **Morozyuk, T. V.** Teoriya holodilnyh mashin i teplovyh nasosov. [Текст] / T. V. Morozyuk – Odessa: Studiya «Negotsiant», 2006. – 712 с.

3. Chistyakov, F.M. Holodilnyie turboagregaty [Текст] / F.M. Chistyakov. — Izd. 2-e pererab. i dop. — М.: Mashinostroenie, 1974. — 301 с.

4. **Orehov, I. I.** Absorbtsionnyie preobrazovateli teploty [Текст]: ucheb., posobie / I. I. Orehov, L. S. Timofeevskiy, S. V. Karavan. – L. Himiya Leningr. otd-nie. 1989, 207 s.

5. **Shumelishkiy, M. G.** Ezhektornyye holodilnyie mashiny [Текст] / M. G. Shumelishkiy – Gosudarstvennoe izdatelstvo torgovoy literatury moskva-1961.

6. Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH. Обзор хладагентов. Издание 13. А-501-13. 2004.

7. **Padalkar, A. S.** Carbon Dioxide as Natural Refrigerant / Padalkar, A. S., Kadam A. D. // International journal of applied engineering research, dindigul .Volume 1, No 2, 2010.

8. **Gorbenko, G. L.** Primenenie dioksida ugleroda v holodilnyih tehnologiyah [Текст] / G.L. Gorbenko, I.V. Chayka, P.G. Gakal, R.Yu. Turna Tehnicheskie gazety, # 4, 2009 с.18-22.

9. **Morosuk, T.** Entropy-cycle method for analysis of refrigeration machine and heat pump cycles./ T. Morosuk, R. Nikulshin, L. Morosuk. // THERMAL SCIENCE: Vol. 10 (2006), No. 1, pp. 111-124 с.

10. **Martyinovskiy, B. C.** Analiz deystvitelnyih termodinamicheskikh tsiklov. [Текст] / B. C. Martyinovskiy - М.: Energiya, 1972. S. 216.

11. **Lillo, T. Moore.** Development of a Supercritical Carbon Dioxide Brayton Cycle: Improving PBR Efficiency and Testing Material Compatibility/ T. Lillo, W. Windes, T. Totemeier, R. Moore. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL), October 2004.

12. **Martyinovskiy, V. S.** Tsikly, shemy i harakteristiki termotransformatorov. [Текст] / B. C. Martyinovskiy // Pod red. V. M. Brodyanskogo. – М.: Energiya, 1979 – 288 с.

13. **Kohsokabe, H.** Performance Characteristics of Scroll Expander for CO<sub>2</sub> Refrigeration Cycles/ H. Kohsokabe, M. Koyama, K. Tojo, M. Matsunaga., International Compressor Engineering Conference. Nakayama (2008) Paper 1847.3

14. **Matsui, M.** Development of High-Efficiency Technology of TwoStage Rotary Expander for CO<sub>2</sub> Refrigerant/ M. Matsui, T. Wada Ogata, H. Hasegawa. International Compressor Engineering Conference, 2008.. Paper 1837.

15. **Yang, C.** Thermodynamic Cycles using Carbon Dioxide as Working Fluid. / C. Yang, School of Industrial Engineering and Management Department of Energy Technology Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration. Stockholm, October, 2011.

16. **Stierlin, H.** Beitrag zum Theorie der Absorption-kaltemaschinen / H. Stierlin, Kaltetechnik.-1964.-VoL-16.-P. 213-219.

## THE CREATION METHODS OF HEAT-USING REFRIGERATION MACHINE WITH CARBON DIOXIDE AS WORKING SUBSTANCE PATTERN

*The article describes the method of creating a cyclic-scheme decision of heat-using compressor refrigerating machine with carbon dioxide as the working substance, based on the thermodynamic analysis of the «method of cycles». The method of creating of the cyclic-scheme decision of the heat-using compressor machinery with carbon dioxide is based on the thermodynamic analysis of the "method of cycles". Through a phased build-up of irreversible in the cycle - sample (consistent «deterioration» of the ideal cycle) caused by the actual conditions of each element work in the composition of the refrigeration machine, reference cycles of valid machines were formed. Based on analysis, minimum elemental composition was defined, which provided real processes of heat transfer, expansion, compression in total with safe machine operation conditions with carbon dioxide. The estimation of the thermodynamic efficiency of cycles for real temperature machine operation modes was made.*

**Keywords:** Refrigeration machine using heat energy - Carbon dioxide - Thermodynamic analysis - Method of cycles.